

⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 21 043 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**A 61 L 27/00**

⑲ Aktenzeichen: P 41 21 043.3  
⑳ Anmeldetag: 26. 6. 91  
㉑ Offenlegungstag: 7. 1. 93

DE 41 21 043 A 1

⑦① Anmelder:  
Merck Patent GmbH, 6100 Darmstadt, DE

⑦② Erfinder:  
Nies, Berthold, Dr., 6105 Ober-Ramstadt, DE;  
Dingeldein, Elvira, Dr., 6072 Dreieich, DE; Wahlig,  
Helmut, Dr., 6100 Darmstadt, DE

⑤④ Knochenersatzmaterial mit FGF

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Knochenersatzmaterial, das in einer porösen Matrix ein oder mehrere Polypeptide mit der biologischen Wirkung von Fibroblasten-Wachstumsfaktoren enthält. Das Einheilungsverhalten entspricht dem von autologem Knochentransplantat.

DE 41 21 043 A 1

Die Erfindung betrifft Knochenersatzmaterialien, die in einer porösen Matrix ein oder mehrere Polypeptide mit der biologischen Wirkung von Fibroblasten-Wachstumsfaktoren enthalten.

Unter Knochenersatzmaterialien sind Materialien zu verstehen, die als Implantate für den Ersatz oder die Rekonstitution von Knochenstrukturen aufgrund von Defekten nach krankheits- oder unfallbedingten operativen Eingriff dienen. Beispielfhaft zu nennen sind Implantatformkörper wie Knochenprothesen verschiedenster Art, Knochenverbindungselemente etwa in Form von Markraumnägeln, Knochenschrauben und Osteosyntheseplatten, Implantatmaterialien zur Auffüllung von Spongiosa-Knochendefekten oder von Zahnextraktionshöhlen sowie zur plastisch-chirurgischen Behandlung von Konturdefekten im Kiefer-Gesichtsbereich.

Für den Einheilungsprozeß werden solche Implantatmaterialien als besonders günstig angesehen, die eine hohe Bioaktivität aufweisen, nämlich dahingehend, daß sie im Organismus angenommen und in ihm integriert werden. Im Falle von Knochenersatzmaterial bedeutet dies, daß es bald mit körpereigenem Gewebe, insbesondere mit dem Knochen, fest und dauerhaft verwachsen soll.

Es ist bekannt, daß bislang die günstigsten Einheilungsergebnisse praktisch nur mit körpereigenen Materialien, d. h. also mit Knochentransplantaten, erreicht werden. Die Verfügbarkeit von Knochentransplantaten ist naturgemäß begrenzt. Autologe Transplantate, also Transplantate vom selben Individuum sind, sofern überhaupt in geeigneter Form und Menge vorhanden, nur durch mindestens einen zusätzlichen operativen Eingriff entnehmbar, wodurch wiederum ein zusätzlicher Heilungsvorgang am Entnahmeort bedingt wird. Gleiches gilt prinzipiell auch für homologe Transplantate, also Transplantate von Spenderindividuen der gleichen Art. Bei diesen kommen noch Probleme der Verträglichkeit hinzu sowie auch die heute immer noch nicht völlig auszuschließende Infektionsgefahr mit Viren, wie insbesondere Hepatitis- und HIV-Viren. Weiterhin ist die Lagerung von Spendermaterial in Knochenbanken aufwendig und letztendlich zeitlich nur begrenzt.

Implantatmaterialien für den Knochenersatz aus nicht körpervarianten synthetischen oder aus körpervarianten Materialien können, je nach Natur und Beschaffenheit, ein bioinertes bis bioaktives Verhalten zeigen. Die Einheilungsergebnisse von körpereigenen Knochentransplantaten konnten bislang jedoch noch von keinem synthetischen Implantatmaterial erreicht werden.

Der Erfindung lag daher die Problemstellung zugrunde, ein Knochenersatzmaterial zur Verfügung zu stellen, dessen biologische Aktivität der von körpereigenen Knochentransplantaten möglichst nahe kommt.

Es wurde nun gefunden, daß dies von einem Knochenersatzmaterial erreicht wird, das in einer porösen Matrix ein oder mehrere Polypeptide mit der biologischen Wirkung von Fibroblasten-Wachstumsfaktoren enthält.

Gegenstand der Erfindung ist daher ein Knochenersatzmaterial, das in einer porösen Matrix ein oder mehrere Polypeptide mit der biologischen Wirkung von Fibroblasten-Wachstumsfaktoren enthält.

Gegenstand der Erfindung ist insbesondere ein derartiges Knochenersatzmaterial, in dem die poröse Matrix eine mineralische Matrix, vorzugsweise auf Basis von

Calcium-Mineralien darstellt.

Fibroblasten-Wachstumsfaktoren (Fibroblast Growth Factors, FGF), die zur Klasse der körpereigenen Peptid-Wachstumsfaktoren gehören, wurden ursprünglich als Substanzen in Gehirn und Hypophyse nachgewiesen und daraus isoliert und zeigten eine das Wachstum von Fibroblasten fördernde Aktivität. FGFs sind bekannt als wirksame gefäßbildende Faktoren, die u. a. für die Neovaskularisation bei der Wundheilung verantwortlich sind. Nähere Details zu FGFs einschließlich ihrer Wandlungsprodukte, zu ihrer Isolierung bzw. Herstellung, ihrer Struktur, ihrer biologischen Aktivitäten und deren Mechanismen sowie zu entsprechenden medizinischen Anwendungen können der inzwischen umfangreichen Fachliteratur entnommen werden.

Eine umfassende Übersicht bietet beispielsweise A. Baird and P. Böhlen, Fibroblast Growth Factors, in: Peptide Growth Factors and their Receptors I (editors: M.B. Sporn and A.B. Roberts) Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1990.

Neben einer Fülle von positiven Wirkungen von FGFs in verschiedensten Indikationsfeldern wurde in neuester Zeit auch in einzelnen Fällen über Einflüsse von FGFs bei der Knochenbildung berichtet, z. B. in Biomaterials 11, 38–40 (1990). In Acta Orthop. Scand. 60, (4) 473–476 (1989) wurde berichtet, daß in Implantaten aus demineralisierter Knochenmatrix (DBM), die mit rekombinantem humanen basischen FGF beladen waren und die Ratten intramuskulär implantiert wurden, ein erhöhter Anteil von mineralisiertem Gewebe gefunden wurde. DBM an sich ist bekannt als Knochenwachstums-fördernde Substanz, da in ihr selbst noch intakte körpereigene Faktoren verschiedenster Art mit Knochenwachstums-fördernder Aktivität enthalten sind. Die biologische Aktivität von DBM ist jedoch, je nach Herkunft und Vorbehandlung, unterschiedlich und in keiner Weise auf ein reproduzierbares Niveau standardisierbar. Darüber hinaus ist DBM als Implantatmaterial für den Knochenersatz aufgrund mangelnder mechanischer Festigkeit praktisch ungeeignet. Aus den publizierten Befunden war in keiner Weise abzuleiten, daß mit dem erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterial ein Material zur Verfügung gestellt werden könnte, daß die mechanischen Eigenschaften künstlicher Implantatmaterialien mit der biologischen Aktivität vereint, wie sie nur Knochentransplantate aufweisen.

Die erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien sind durch das gemeinsame Merkmal gekennzeichnet, daß sie in einer porösen Matrix ein oder mehrere Polypeptide mit der biologischen Wirkung von FGF enthalten. Als erfindungsgemäß geeignete Wachstumsfaktoren sind somit nicht nur die "klassischen" FGFs wie der saure Fibroblasten-Wachstumsfaktor (acidic Fibroblast Growth Factor, aFGF) und der basische Fibroblasten-Wachstumsfaktor (basic Fibroblast Growth Factor, bFGF) anzusehen, sondern alle peptidischen Wachstumsfaktoren, die die biologische Wirkung von FGF zeigen.

Zum engeren Kreis von FGFs zählen native FGFs, insbesondere bovinen und humanen Ursprungs sowie rekombinant hergestellte FGFs. Bevorzugt sind insbesondere rekombinant hergestelltes humanes aFGF und bFGF. Näheres zu rekombinant hergestellten bovinen wie humanen aFGFs und bFGFs kann beispielsweise den folgenden Patentdokumenten entnommen werden: EP 2 28 449, EP 2 48 819, EP 2 59 953, EP 2 75 204. Zum weiteren Kreis von FGFs zählen auch Muteine, die sich von aFGF bzw. bFGF in einem gewissen Umfang in

Zahl und/oder Sequenz der Aminosäuren unterscheiden ohne daß hiermit eine wesentliche Wirkungsveränderung verbunden ist. Der weitere Kreis von FGFs umfaßt schließlich noch verwandte Peptide mit zum Teil deutlich verschiedenen Aminosäuresequenzen mit der Wirkung von FGF sowie mit der Wirkung von FGF verstärkender Aktivität. Als Literaturhinweis seien beispielhaft die folgenden Patentdokumente angeführt: EP 1 48 922, EP 2 26 181, EP 2 81 822, EP 2 88 307, EP 3 19 052, EP 3 26 907 und WO 89-12 645.

Zu FGFs im Sinne der Erfindung zählen weiterhin Derivate dieser Peptide, die mit stabilisierenden und/oder aktivitätssteigernden Agentien erhalten werden. Es sind dies insbesondere gegen Säure stabilisierte Formen von aFGF und bFGF, die als stabilisierende Agentien beispielsweise Glykosaminykane wie Heparin, Heparinfragmente, Heparansulfat und Dermatan-sulfat oder Glukansulfate wie Dextransulfat und Cyclodextrinsulfat enthalten. FGF-Derivate dieser Art sind beispielsweise beschrieben in EP 2 51 806, EP 2 67 015, EP 3 12 208, EP 3 45 660, EP 4 06 856, EP 4 08 146, WO 89-12 464, WO 90-01 941 und WO 90-03 797.

Besonders bevorzugt für die Anwendung in den erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien sind Formen von rekombinant hergestelltem humanen bFGF wie sie in EP 2 48 819 beschrieben sind.

In den erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien können die FGFs in einer Konzentration von  $1 \text{ ng/cm}^3$  —  $1 \text{ mg/cm}^3$  vorliegen. Die Wahl der Konzentration innerhalb des genannten Bereichs kann abhängig sein von Art und Form und der Aktivität des im Einzelfall einzusetzenden FGF sowie von der Natur des im Einzelfall vorgesehenen Implantatwerkstoffes und dessen ggf. inhärent vorhandene Bioaktivität. Vorzugsweise liegt die Konzentration an FGF im Bereich zwischen  $1 \text{ µg/cm}^3$  bis  $1 \text{ mg/cm}^3$ .

In den erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien können grundsätzlich alle bekannten und üblichen Implantatwerkstoffe vorliegen, sofern diese eine poröse Matrix zur Aufnahme von FGF darstellen oder aufweisen. Implantatwerkstoffe können in die Klassen mineralische, insbesondere keramische Werkstoffe, physiologisch akzeptable metallische Werkstoffe, physiologisch akzeptable Polymerwerkstoffe und Verbundwerkstoffe aus zwei oder mehr Materialien der genannten Art eingeteilt werden. Diese Werkstoffe können als Ganzes eine poröse Matrix bilden, etwa in Form von porösen Implantatformkörpern oder es können nur bestimmte Anteile des Werkstoffs als poröses Material vorliegen bzw. bestimmte Bereiche eines Implantatformkörpers eine poröse Matrix darstellen. Die letzten beiden Fälle können beispielsweise in der Form realisiert sein, daß ein Verbundwerkstoff oder ein Knochenzement eine poröse Komponente enthält bzw. ein Implantat mit einer porösen Oberflächenbeschichtung oder einer entsprechend aufgerauten Oberfläche versehen ist.

Für die erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien sind von der Werkstoffseite Materialien bevorzugt, die mineralischer und insbesondere keramischer Natur sind. Ein vorteilhafter Aspekt der Erfindung ist, daß an sich bioinerte Materialien, wie etwa oxidkeramische Werkstoffe, durch die Beladung mit FGF biologisch aktiviert werden können und so ein signifikant besseres Einwachs- und Einheilungsverhalten zeigen.

Bevorzugte mineralische Werkstoffe sind allerdings solche, die an sich bioaktiv sind. Dies trifft vornehmlich auf Materialien zu, die auf Calcium-haltigen Materialien basieren, wie insbesondere Calciumcarbonat, Calcium-

phosphate und von diesen Verbindungen abgeleitete Systeme. Aus der Gruppe der Calciumphosphate sind als bevorzugt Hydroxylapatit, Tricalciumphosphat und Tetracalciumphosphat zu nennen.

Implantatwerkstoffe auf mineralischer Basis gewährleisten jedoch meist nur dann eine hohe mechanische Stabilität, wenn sie als Keramiken, d. h. also in Form von bei ausreichend hohen Temperaturen gesinterten Materialien bzw. Werkstücken eingesetzt werden.

Knochenersatzmaterial auf Basis von Calciumphosphat-Keramiken gelten aufgrund ihrer chemischen Verwandtschaft mit der Mineralphase natürlicher Knochen als bioaktiv. Natürlicher Knochen besteht in seiner Mineralphase überwiegend aus Hydroxylapatit, einem Calciumphosphat der Summenformel  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ .

Hydroxylapatit synthetischen oder organischen Ursprungs, etwa aus natürlichem Knochenmaterial, ist daher ein häufig verwendeter Rohstoff zur Herstellung von Implantaten für den Knochenersatz. Hydroxylapatit-Keramik ist im Organismus im wesentlichen nicht resorbierbar. Das heißt, das körperfremde Material bleibt über lange Zeit praktisch unverändert erhalten und die Integration in den Organismus erfolgt im wesentlichen durch Verwachsen mit vorhandenem und sich neu bildenden Knochen und Einwachsen im umgebenden Gewebe.

Tricalciumphosphat ist unter bestimmten Umständen im Organismus resorbierbar. Tetracalciumphosphat ist im wesentlichen nicht bioresorbierbar.

Ein besonders günstiges Einwachsverhalten zeigen poröse Calciumphosphat-Keramiken. Besonders bevorzugt sind hierbei Materialien basierend auf natürlichem Knochen, der durch verschiedene Behandlungen mineralisiert und in ein keramisches System überführt wird, wobei die Struktur des Knochens möglichst erhalten bleiben soll. Den Verfahren gemeinsam ist die Entfernung der organischen Knochenbestandteile und die anschließende Verfestigung zur Keramik durch Sinterung bei entsprechenden Temperaturen. Die Entfernung der organischen Anteile erfolgt durch chemische Lösungsvorgänge oder durch pyrolytische Verfahren.

Näheres zu Knochenkeramiken und besonders günstige Verfahren zu ihrer Herstellung kann beispielsweise den Patentdokumenten DE 37 27 606, DE 39 03 695, DE 41 00 897 und DE 40 28 683 entnommen werden.

Knochenkeramikimplantate zeigen aufgrund ihrer ausgezeichneten Übereinstimmung mit dem Porensystem natürlichen Knochens erhebliche biologische Vorteile beim Einwachsverhalten und der Heilung im Organismus. Besonders bevorzugt ist Spongiosa-Knochenkeramik aufgrund seiner hochporösen, dreidimensional offenenporigen Netzwerkstruktur.

Formkörper aus keramischem Material, insbesondere der vorgenannten Art, werden in erster Linie für den Ersatz von tragenden Knochenstrukturen eingesetzt, die hohen mechanischen Belastungen Stand halten müssen. Beispiele hierfür sind Knochenprothesen und Knochenverbindungselemente wie etwa Markraumnägel, Knochenschrauben und Osteosyntheseplatten.

Genauere klinische Untersuchungen haben gezeigt, daß offen vorliegende mineralische Kontaktflächen in Implantaten aus Calciumphosphat-Keramik bevorzugt die Neubildung von mineralischer Knochenmatrix stimulieren, wodurch sich eine feste Verwachsung des Implantats ergibt. Gefördert wird dies weiter noch bei porösen Implantaten, wo sich aufgrund der höheren Oberfläche und durch Einsprossung von neuem Knochengewebe eine besonders intensiv verzahnte und damit me-

chanisch stabile Verwachsung ausbildet. Bei Implantatmaterialien aus überwiegend polymeren Werkstoffen oder aus bioinerten Materialien bildet sich statt dessen zunächst bevorzugt im Kontaktbereich Bindegewebe, was zu einer nur mäßig festen Verwachsung führt.

Es hat sich nun gezeigt, daß die erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien, im wesentlichen unabhängig von der Art des Werkstoffes, durch die Beladung mit FGF nach der Implantation im Kontaktbereich und, je nach dem ob sie aufgrund Porosität und/oder Resorption durchwachsbar sind, auch in ihrem Inneren eine erhebliche Neubildung von mineralischer Knochenmatrix stimulieren. Dies ist in jedem Fall signifikant höher als in entsprechenden unbeladenen Implantaten. Hierbei konnte bei mit FGF beladenen porösen Implantaten auf Basis von Calcium-Mineralien, insbesondere Calciumphosphat-Keramiken, ein ausgeprägter synergistischer Effekt beobachtet werden. So zeigte sich in klinischen Modellversuchen bei mit FGF beladenen Knochenkeramik-Implantaten sechs Wochen nach der Implantation eine vollständige Inkorporation in den Knochen durch Ein- und Durchwachsung mit neugebildeter, überwiegend mineralischer Knochenmatrix. Ein vergleichbares Ergebnis wurde nur von autologen Knochentransplantaten erreicht, während beispielsweise bei unbeladener Knochenkeramik, DBM und mit DBM imprägnierter Knochenkeramik nur in den Kontaktbereichen zum vorliegenden Knochen eine Verwachsung durch Neubildung von Knochenmatrix festgestellt werden konnte. Es wird angenommen, daß sich die knochenwachstumsfördernde Wirkung von FGF und die Bioaktivität von Calcium-haltigen Implantatwerkstoffen, wie insbesondere Knochenkeramik, sich gegenseitig verstärken und so zu einer beschleunigten Einheilung und Inkorporation des Implantates führen.

Der positive Einfluß von FGF auf das Einheilungsverhalten von Implantaten für den Knochenersatz ist, wie schon erwähnt, auf praktisch alle Arten von Knochenersatzmaterialien und Implantatwerkstoffen übertragbar, sofern diese so geartet bzw. gestaltet sind, daß sie eine poröse Matrix zur Aufnahme von FGF und Wiederabgabe an den Organismus aufweisen, zweckmäßigerweise zumindest vornehmlich im Kontaktbereich mit dem Körpergewebe. Diese Voraussetzungen erfüllen beispielsweise auch Implantate aus metallischen Werkstoffen, die in sich porös sind oder eine poröse Oberflächenbeschichtung, vorzugsweise aus dem bioaktiven Hydroxylapatit, oder die eine porös strukturierte oder zumindest aufgeraute Oberfläche aufweisen. Gleiches gilt für Implantate aus polymeren Werkstoffen, anderen Keramikmaterialien oder aus Verbundwerkstoffen.

Grundsätzlich können die erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien nicht nur als Implantatformkörper vorliegen, sondern auch in Pulver- oder Granulatform, je nachdem wie es der Einsatzort und der Anwendungszweck erfordert.

Als Verbundmaterialien kommen vorzugsweise solche in Betracht, bei denen zumindest eine Komponente als poröse Matrix zur Aufnahme von FGF vorliegt. Zweckmäßig sind entsprechende Knochenersatzmaterialien auf Basis von Verbundwerkstoffen, in denen eine poröse mineralische Matrix in Pulver- oder Granulatform vorliegt und im Verbund mit einem physiologisch akzeptablen polymeren Werkstoff einen Formkörper bildet.

Verbundmaterialien dieser Art können der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden, beispielsweise den Patentdokumenten WO 90-01 342 und WO

90-01 955, in denen Implantatwerkstoffe auf Basis von Calciumphosphat- bzw. Knochenkeramikpartikeln und bioresorbierbarem Polymer beschrieben sind.

In analoger Weise kann auch die Bioaktivität von Knochenzementen gesteigert werden. Knochenzemente bestehen überwiegend aus Acrylsystemen, die mineralische Füllstoffe, meist auf Basis von Calciumverbindungen, enthalten. Erfindungsgemäß kann beispielsweise mit FGF beladenes poröses Hydroxylapatitpulver bzw. -granulat als Füllstoffkomponente in Knochenzement eingesetzt werden.

Die Herstellung der erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien durch Beladung der jeweiligen porösen Matrix mit Polypeptiden mit der Wirkung von FGF ist an sich problemlos. Zweckmäßigerweise geht man von einer geeigneten flüssigen Präparation von FGF, beispielsweise in Form einer gepufferten wäßrigen Lösung, aus und läßt diese in der vorgesehenen Dosierungsmenge in die poröse Matrix des Knochenersatzmaterials vollständig einziehen. Damit, bzw. nach einer ggf. erforderlichen Trocknung, ist das Knochenersatzmaterial bereits einsetzbar oder nach den für derartige Materialien für die medizinische Anwendung erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen, lagerbar. Auf diese Weise sind poröse Implantatformkörper, vorzugsweise aus Knochenkeramik, mit poröser Oberfläche versehene Implantate und poröse partikelförmige Komponenten für Verbundwerkstoffe und Knochenzemente mit FGF beladbar.

In einer bevorzugten Ausführungsform liegt das erfindungsgemäße Knochenersatzmaterial in Form eines gebrauchsfertigen Implantationssets aus zwei oder mehr getrennten Komponenten vor, worin eine Komponente die poröse Matrix und eine andere Komponente eine Lösung des Polypeptids mit der Wirkung von FGF beinhaltet. Eine derartige Ausführungsform ist besonders zweckmäßig, um mögliche Stabilitätsprobleme, die bei einer Langzeitlagerung von bereits fertig konfektionierten erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien auftreten könnten, wirksam zu begegnen. So wurde beispielsweise in der Fachliteratur berichtet, daß Calciumionen, die ja in den hier bevorzugten Werkstoffen vorliegen, einen destabilisierenden Einfluß auf FGF ausüben können. Die Anwendung der erfindungsgemäßen Knochenersatzmaterialien in Form eines derartigen Implantationssets erfolgt in der Weise, daß man kurz, vor oder während des chirurgischen Eingriffs für die Implantation die poröse Matrix des jeweiligen Implantatwerkstoffes mit der FGF-enthaltenden Lösung in der vorbeschriebenen Weise belädt. Besonders zweckmäßig ist eine derartige Ausführungsform für den Fall, daß die poröse Matrix von einem Implantatformkörper selbst gebildet wird, wobei als Werkstoff in erster Linie mineralische, vorzugsweise keramische Werkstoffe und insbesondere gesinterte Knochenkeramik in Betracht kommen.

Je nach Ausführungsform stellt somit das erfindungsgemäße Knochenersatzmaterial einen zumindest gleichwertigen Ersatz für autologe und homologe Knochentransplantate dar oder ist für andere Formen des Knochenersatzes eine erhebliche Verbesserung in Bezug auf das Einheilungsverhalten.

#### Beispiel 1

#### Herstellung von Implantatformkörpern

Aus Spongiosa-Hydroxylapatit-Knochenkeramikroh-

lingen, hergestellt nach DE 40 28 683, werden mittels Diamantfräse zylindrische Formkörper von 10,00 mm Höhe und 9,55 mm Durchmesser gefertigt.

Ein Teil dieser Formkörper wird jeweils mit 100 µl einer Lösung, enthaltend 50 µg rekombinant hergestelltes humanes bFGF imprägniert, getrocknet und bei 4 – 6°C bis zum Implantationszeitpunkt gelagert.

Die übrigen Formkörper dienen Vergleichszwecken.

#### Beispiel 2

#### Vergleichende tierexperimentelle Untersuchung

Tierart: Minischwein, adult, weiblich, 6 Gruppen, 8 Implantate pro Gruppe  
Implantate:

- a) Spongiosa-Hydroxylapatit-Keramik mit FGF (gemäß Beispiel 1)
- b) Spongiosa-Hydroxylapatit-Keramik
- c) DBM
- d) Spongiosa-Hydroxylapatit-Keramik, imprägniert mit DBM
- e) autologes Spongiosatransplantat, paßgenau mit Zwillingsfräse entnommen.
- f) homologes Spongiosatransplantat, paßgenau mit Zwillingsfräse entnommen, Lagerung bis zum Implantationszeitpunkt bei – 30°C

Implantationsort: In das Patellagleitlager der Femurkondyle, linksseitig und rechtsseitig

Nach 6 Wochen werden die Knochen operativ entnommen und durch histologische Untersuchung die Knochenneubildung und die Mineralisation erfaßt.

#### Ergebnis

- a) Spongiosa-Hydroxylapatitkeramik mit FGF  
Knochenneubildung vom Knochenbett bis in das Zentrum des Implantats; vollständige Inkorporation
- b) Spongiosa-Hydroxylapatitkeramik  
Marginaler knöcherner Kontakt mit dem Implantat; Einwachsen nur in den Randbereich des Implantats
- c) DBM  
Marginaler knöcherner Kontakt mit dem Implantat; Einwachsen nur in den Randbereich des Implantats
- d) Spongiosa-Hydroxylapatitkeramik, imprägniert mit DBM  
Knochenneubildung im Kontaktbereich von Knochenbett und Implantat; amorphes DBM liegt noch vor.
- e) Autologes Spongiosatransplantat  
Knochenneubildung vom Knochenbett bis in das Zentrum des Implantats; vollständige Inkorporation.
- e) Homologes Spongiosatransplantat  
Knochenneubildung vom Knochenbett, etwa 1/3 bis 1/2 des Implantats erfassend; teilweise Inkorporation.

#### Patentansprüche

- 1. Knochenersatzmaterial, dadurch gekennzeichnet, daß es in einer porösen Matrix ein oder mehrere Polypeptide mit der biologischen Wirkung von Fibroblasten-Wachstumsfaktoren enthält.

2. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es den basischen Fibroblasten-Wachstumsfaktor enthält.

3. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es den sauren Fibroblasten-Wachstumsfaktor enthält.

4. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß es rekombinant hergestellten Fibroblasten-Wachstumsfaktor enthält.

5. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß es Muteine der Fibroblasten-Wachstumsfaktoren enthält.

6. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß es säurestabilisierte Formen der Polypeptide enthält.

7. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es 1 ng/cm<sup>3</sup> bis 1 mg/cm<sup>3</sup>, vorzugsweise 1 bis 100 µg/cm<sup>3</sup>, an Polypeptid enthält.

8. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Matrix von einem mineralischen, vorzugsweise bioaktiven Werkstoff gebildet wird.

9. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse mineralische Matrix im wesentlichen aus Calcium-Mineralien besteht.

10. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse mineralische Matrix im wesentlichen aus Calciumphosphat besteht.

11. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse mineralische Matrix aus einer oder mehreren Verbindungen der Gruppe Hydroxylapatit, Tricalciumphosphat, Tetracalciumphosphat besteht.

12. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Calcium-Mineralien aus natürlichem Knochen gewonnen sind.

13. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der porösen mineralischen Matrix um gesinterter Calciumphosphatkeramik handelt.

14. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse mineralische Matrix aus gesinterter Spongiosa-Knochenkeramik besteht.

15. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Matrix von einem physiologisch akzeptablen metallischen Werkstoff gebildet wird.

16. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Matrix von einem physiologisch akzeptablen Polymerwerkstoff gebildet wird.

17. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Matrix als Implantatformkörper vorliegt.

18. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Matrix die Oberfläche oder eine Oberflächenbeschichtung eines Implantatformkörpers bildet.

19. Knochenersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Matrix in Pulver- oder Granulatform vorliegt.

20. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß eine poröse minerali-

sche Matrix in Pulver- oder Granulatform vorliegt und im Verbund mit einem physiologisch akzeptablen polymeren Werkstoff einen Formkörper bildet.

21. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß eine poröse mineralische Matrix in Pulver- oder Granulatform vorliegt und eine Komponente eines Knochenzements bildet.

22. Knochenersatzmaterial gemäß den Ansprüchen 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß es in Form eines gebrauchsfertigen Implantationssets aus zwei oder mehr getrennten Komponenten vorliegt, dessen eine Komponente die poröse Matrix und eine andere Komponente eine Lösung des Polypeptids beinhaltet.

23. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Komponente, die die poröse Matrix beinhaltet, eine Implantatformkörper ist.

24. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Implantatformkörper aus einem mineralischen, vorzugsweise keramischen Werkstoff besteht.

25. Knochenersatzmaterial nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Implantatformkörper aus gesinterter Knochenkeramik besteht.

30

35

40

45

50

55

60

65